

文章编号: 1007-757X(2014)02-0057-02

一种新的介质滤波器设计方法

卢青, 陈晓光

摘要: 分析并设计了新型介质滤波器结构, 提高了滤波器的性能, 减小了体积。同时使用 HFSS 电磁仿真软件对所设计的谐振器进行仿真。同时设计了新型的滤波器耦合矩阵综合和优化方法, 大大提高了耦合矩阵综合与优化的性能和计算速度。

关键词: 介质滤波器; 耦合结构; 耦合矩阵综合; 优化算法

中图分类号: TP311

文献标志码: A

A Novel Method of Dielectric Resonator Filter Design

Lu Qing, Chen Xiaoguang

(College of Information Science and Engineering, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract: This paper presents a simple and efficient high-dimensional parametric model of dielectric resonator filter utilizing a modular neural network technique. This method completes cross-coupling synthesis quickly and designs a coaxial filter with this method. With the development of filter design, microwave filter is not difficult overall, the future of dielectric resonator filter design focuses on the fast simulation technology and automated tuning technology.

Key words: Dielectric Filter; Cross-Coupling; Cross-Coupling Matrix Synthesis; Optimization Algorithm

0 引言

电磁波在高介电常数的媒介中传播, 波长可以缩短, 因此可以构成小型的介质滤波器。^[1]以往介质滤波器设计过程中一般采用级间耦合的方式, n 阶的滤波器需要 n 个腔体 n 个谐振器, 为了降低成本和减小体积, 使用了交叉耦合和多模耦合的方式。新的耦合方式使得耦合矩阵更加复杂, 综合更加困难, 消耗大量的时间和计算资源。

耦合矩阵的求解和优化是滤波器设计的关键, 通过耦合矩阵, 可以得到相应的电路结构, 从而设计出所需的滤波器。耦合矩阵的求解方法分为两类: 一类是矩阵消元法, 通过耦合矩阵的消元变化进行求解, 但是只适用于一些特定的拓扑结构; 另一类是优化算法, 通过最优化算法对耦合矩阵进行求解, 如梯度优化算法、遗传优化算法。^[2]

1 耦合矩阵参数提取流程及公式

耦合矩阵参数提取的流程如图 1 所示:

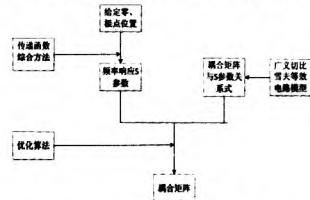


图 1: 耦合矩阵参数提取流程图

如图所示, 交叉耦合滤波器的传输函数是广义切比雪夫多项式^[3], 其传输函数的平方可以用公式 (1):

$$|S_{21}(\omega)|^2 = \frac{1}{1 + \varepsilon^2 T_N^2(\omega)} \quad (1)$$

其中, $T_N(\omega)$ 为 N 阶的广义切比雪夫多项式, 且公式(2):

$$T_N(\omega) = \cosh \left[\sum_n^N \cosh^{-1}(x_n) \right] \quad (2)$$

采用迭代方法进行对广义切比雪夫多项式计算求解展开, 可得公式 (3)、(4):

$$T_N(\omega) = \frac{1}{2} \left[\frac{\prod_{n=1}^N (c_n + d_n) + \prod_{n=1}^N (c_n - d_n)}{\prod_{n=1}^N 1 - \frac{\omega}{\omega_n}} \right] \quad (3)$$

$$P_N(\omega) = \prod_{n=1}^N \left(1 - \frac{\omega}{\omega_n} \right) \\ F_N(\omega) = \frac{1}{2} \left[\prod_{n=1}^N \left[(\omega - \frac{1}{\omega_n}) + \omega (1 - \frac{1}{\omega_n^2})^{\frac{1}{2}} \right] + \prod_{n=1}^N \left[(\omega - \frac{1}{\omega_n}) - \omega (1 - \frac{1}{\omega_n^2})^{\frac{1}{2}} \right] \right] \quad (4)$$

2 神经网络优化算法提取耦合矩阵参数

本文中采用了神经网络算法^[4-5], 更简捷、有效的计算出微波谐振腔滤波器的高维参数模型。将滤波器结构分解为几部分子结构, 对不同的子结构训练其神经网络模型。然后, 把不同子结构的神经网络模型组合为最终的滤波器参数模型。这种神经网络算法仅仅需要少量的训练数据, 模型建立以后能够准确的求解和优化耦合矩阵参数。

人工神经网络算法 (ANN) 的研究一定程度上受到了生物学的启发, 由一系列简单的单元相互密集的连接构成, ANN 算法能够对分布在大量神经元上的信息表示进行高度的并行处理。

滤波器耦合矩阵需要求解的参数个数为 i 个, 整个模型的输出参数有四个, 可以表示为 $[RS_{11}, IS_{11}, RS_{21}, IS_{21}]^T$, 分别是 S11 参数和 S21 参数的实部和虚部。如图 2 所示, 把整

作者简介: 卢青 (1988-), 男, 江苏省宿迁人, 复旦大学, 在读硕士研究生, 研究方向: 电磁场与微波, 上海, 200433
陈晓光 (1964-), 男, 复旦大学, 副教授, 研究方向: 无线通信、电磁场与微波, 上海, 200433

个滤波器分解为 N 个子模块，分别表示为 M1、M2... 分解以后，每一个子模块通过独立的 ANN（人工神经网络）算法

建模。例如子模块 M1 拥有三个独立的参数 $x = [x_1, x_2, x_3]$ ，把频率 f 作为额外的输入变量加上以后，子模块 M1 拥有四个参数，M1 拥有六个输出参数，可以表示为 $y = [RS_{11}, IS_{11}, RS_{21}, IS_{21}, RS_{22}, IS_{22}]^T$ ，分别是 S11、S21 和 S22 的实部和虚部。其他的子模块和模块 M1 采用同样的处理方法。通过降维处理，每一个子模块所需要消耗的计算资源很小，并且可以通过并行处理每一个子模块，而不用考虑整个模型，大大节省了运算时间。

整个神经网络最小化算法如图 2 所示：

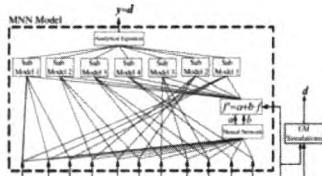


图 2：神经网络算法结构

包含 N 个子模块、一个分析模块和频率映射模块。为了把所有的子模块连成一个整体结构，分析模块可以分为以下 3 个步骤：把子模块的输出 (S 参数) 转化为 ABCD 矩阵，然后把所有的 ABCD 矩阵加在一起转化为整体结构的 S 参数。因为高次模在波导中的传播，由神经网络算法转化的 S 参数结果相比实际的 S 参数产生了频率漂移的情况。为了修正频率偏移的情况，提出了频率映射模块，其包含一个线性

方程 $f' = a + bf$ ，f 代表原始输入的频率，f' 表示映射后的频率， $[a, b]^T$ 为线性参数。每一个子模块的 ANN 算法用来训练得出子模块参数 $x = [x_1, x_2, x_3]$ 与线性参数 $[a, b]^T$ 之间的关系。d 表示电磁仿真的结果，整个算法的目标函数就是为了找到内在的权重参数 w 使得相应的输出 y 和 d 能够最小化误差函数：

$$E(w) = \frac{1}{2n} \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^{F_p} \|y(x_k, a(w, x_k) + b(w, x_k), f_j) - d(x_k, f_j)\|^2$$

其中 n 是所有的训练样本的数量，Fp 是频率点的数量，参数 x_k 、频率 f 和新的映射后的频率 f' 之间的映射为：

$$f'_j = a(w, x_k) + b(w, x_k) \cdot f_j$$

所有子模块在整个最优化过程中都是彼此独立的。

3 利用神经网络算法求解介质滤波器耦合矩阵求解与验证

滤波器的设计指标如表 1 所示：

表 1 滤波器的设计指标

中心频率 f_0	500MHz
工作带宽 BW	8MHz
回波损耗 RL	<-25dB
插入损耗 IL	<-0.05dB
带外抑制 Rej.	<-35dB@500MHz±6.5MHz

输入给定滤波器设计指标，运行算法，可以得到满足要求的滤波器的耦合矩阵。

求解出来的滤波器耦合矩阵如下所示：

$$\begin{matrix} 0.000 & 0.146 & 0 & 0.000 \\ 0.0146 & 0.000 & 0.009 & 0.009 \\ 0.000 & 0.009 & 0.000 & 0.0122 \\ 0.006 & -0.003 & 0 & 0.006 \end{matrix}$$

ADS 电路仿真结果如图 2 所示：

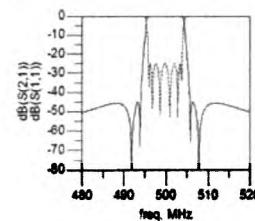


图 2 电磁仿真结果

如上图所示，仿真结果与设计指标要求完全符合，证明了算法的有效性。

4 总结

文中在介质滤波器设计过程中采用了神经网络算法来综合滤波器耦合矩阵，大大降低了运算的时间，提高了运算的准确性，并通过电磁仿真验证了模型的有效性。

参考文献

- [1] Zhang Q J, Gupta K C. Neural Networks for RF and Microwave Design (Book+ Neuromodeler Disk)[M]. Artech House, Inc., 2000.
- [2] Pozar D M. Microwave engineering[M]. John Wiley & Sons, 2009.
- [3] Zhang Q J, Gupta K C, Devabhaktuni V K. Artificial neural networks for RF and microwave design-from theory to practice[J]. Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on, 2003, 51(4): 1339-1350.
- [4] Burrasco P, Fiori S, Mongiardo M. A review of artificial neural networks applications in microwave computer - aided design (invited article)[J]. International Journal of RF and Microwave Computer - Aided Engineering, 1999, 9(3): 158-174.
- [5] J.K. Plourde and C. Ren, "Application of Dielectric Resonators in Microwave Components", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., Vol. MTT-29, pp. 754-769, August 1981.

(收稿日期: 2014.02.28)

微波滤波器设计培训——视频课程

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养，是国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地。客户遍布中兴通讯、研通高频、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们推出的微波滤波器设计培训专题，有资深工程师领衔主讲，课程既有微波滤波器设计原理的详细解释，也有各种仿真分析工具的实际设计应用讲解，设计原理和设计仿真实践相结合，向大家呈现各种结构的微波滤波器的完整设计流程。旨在帮助大家透彻地理解并实际的掌握各种微波滤波器的设计。



微波滤波器设计培训专题视频课程

高清视频，专家授课，中文讲解，直观易学；既有微波滤波器设计原理的详细解释，也有像 ADS、CST、HFSS 各种仿真分析工具的实际设计应用讲解，旨在帮助大家透彻地理解并实际的掌握各种微波滤波器的设计。

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/filter/>

更多专业培训课程：

- **HFSS 视频培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/>

- **CST 视频培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/>

- **天线设计专业培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/>